

STUTT GART

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Eckhard Wolf\*  
Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Johannes Lutz\*  
Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Thomas Pfiz\*

BADEN-BADEN

Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Thilo Corts

Zustelladresse:

Hauptmannsreute 93  
D-70193 Stuttgart

Telefon 0711 - 187760

Telefax 0711 - 187765

BorgWarner Inc.  
BorgWarner Powertrain Technical Center  
3800 Automation Drive, Ste. 100  
Auburn Hills, MI 48236  
USA

---

Abgasturbolader

---

A 54 543 EP

19.08.02

\*EXPRESS MAIL\* LABEL NO.: EV 330255014 US  
I HEREBY CERTIFY THAT THIS PAPER IS BEING DEPOSITED WITH THE  
UNITED STATES POSTAL SERVICE \*EXPRESS MAIL POST OFFICE TO  
ADDRESSEE\* SERVICE UNDER 39 CFR 1.10 IN AN ENVELOPE ADDRESSED  
TO: THE COMMISSIONER OF PATENTS, P.O. BOX 1450, ALEXANDRIA, VA  
22313-1450, ON THIS DATE. THE COMMISSIONER IS HEREBY AUTHORIZED  
TO CHARGE ANY FEES ARISING HEREFROM AT ANY TIME TO DEPOSIT  
ACCOUNT 19-0877.

19/08/02  
DATE

[Signature]  
SIGNATURE

## **Abgasturbolader**

### **Beschreibung**

- 5 Die Erfindung betrifft einen Abgasturbolader mit einem Gehäuse und einer im Gehäuse um ihre Längsachse drehbar angeordneten Welle, auf der ein Turbinenrad und ein Verdichterrad sitzen und die in als Magnetlager ausgebildeten Radiallagern und wenigstens einem Axiallager geführt ist, wobei die Lager jeweils eine auf der Welle sitzende Lagerscheibe und
- 10 wenigstens einen diesem an zumindest einer Seite axial unter Bildung eines Spaltes gegenüberliegenden Stator aufweisen. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Kühlung der Lager eines derartigen Abgasturboladers.
- 15 Abgasturbolader dienen der Verbesserung des Wirkungsgrades und damit der Leistungssteigerung von Verbrennungsmotoren. Sie weisen eine Welle auf, die einerseits mit einem Turbinenrad und andererseits mit einem Verdichterrad versehen ist. Das Turbinenrad wird vom Abgasstrom des Verbrennungsmotors beaufschlagt, wobei im Wesentlichen ein Teil der
- 20 thermischen Energie des Abgases durch das Turbinenrad in eine Drehbewegung umgesetzt wird. Über die Welle wird das Verdichterrad angetrieben, das Frischluft ansaugt und mit Überdruck in die Einlasskanäle des Verbrennungsmotors einströmen lässt und damit den Füllungsgrad verbessert.
- 25 An die Lagerung der Welle von Abgasturboladern werden hohe Anforderungen gestellt. Zum einen erreicht die Welle hohe Drehzahlen bis zu 300.000 U/min. Zum anderen sind der Abgasturbolader und damit dessen Lager hohen Temperaturen ausgesetzt. Ein weiteres Problem besteht darin,
- 30 dass der auf das Turbinenrad auftreffende Abgasstrom starke Axialkräfte erzeugt, die in einem Axiallager aufgefangen werden müssen. Wegen der hohen Drehzahlen müssen die sich drehenden Teile des Abgasturboladers

hochgenau ausgewuchtet werden, damit so wenig wie möglich Schwingungen bzw. Vibrationen erzeugt werden. Bei alledem muss zusätzlich noch darauf geachtet werden, dass der sehr breite Temperaturbereich, in dem ein Abgasturbolader arbeitet, nicht zu  
5 Verspannungen der Lager aufgrund von Materialausdehnungen führt.

Als Lager für die Welle kommen bisher ausschließlich Gleit- oder Wälzlager zur Anwendung. Sie unterliegen mit Blick auf die vorgenannten Beanspruchungen erheblichem Verschleiß und sind ebenso wie deren  
10 Schmierung zu ca. 80 % für den Ausfall des Abgasturboladers verantwortlich. Demgegenüber verspricht eine magnetische Lagerung der Welle den Vorteil, dass auf den Einsatz von Öl als Schmiermittel verzichtet werden kann. Dadurch lassen sich strenge Abgasnormen für Fahrzeuge einhalten und die Zuverlässigkeit der Turbolader erhöhen. Weiterhin bieten magnetische Lager  
15 den Vorteil der Reduzierung oder sogar Vermeidung des Wuchtens der rotierenden Komponenten, da diese Lager den Rotor in seiner Schwerpunktachse halten. In einem Punkt ist der magnetischen Lagerung im Vergleich zu herkömmlichen ölgeschmierten Gleit- oder Wälzlagern zusätzlich Rechnung zu tragen. Während ein nicht unerheblicher Teil der  
20 Wärme der Welle bei letzteren durch das durchströmende Schmieröl abgeleitet wird, ist dies bei der Magnetlagerung nicht der Fall. Eine Aufheizung der im Lagergehäuse befindlichen Luft ist die Folge. Die Luft darf dort jedoch die höchstens zulässige Temperatur der zum Einsatz kommenden Magnete nicht übersteigen. Bei der Verwendung von NdFeB  
25 Magneten liegt diese Grenze bei etwa 130 °C.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Abgasturbolader mit permanentmagnetischer Lagerung bereitzustellen, bei dem die höchstens zulässige Temperatur im Bereich der Magnete nicht überschritten wird.

Zur Lösung dieser Aufgabe werden die in Patentanspruch 1 und 10 angegebenen Merkmalskombinationen vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

5

Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, die notwendigerweise vorhandenen Lagerspalte der Magnetlager für eine Zwangskühlung zu nutzen. Gemäß der Erfindung wird daher vorgeschlagen, dass in dem Gehäuse mindestens ein Strömungskanal gebildet ist, über den mindestens  
10 ein Lagerspalt mit einem Luftstrom beaufschlagbar ist. Der Luftstrom wird bevorzugt als Teilstrom von der verdichteten Luft für den Motor am Verdichtergehäuse abgezweigt. Dies kann dadurch erreicht werden, dass der mindestens eine Strömungskanal in ein Verdichtergehäuse des Turboladers mündet. Der Strömungskanal kann in Abhängigkeit von der geometrischen  
15 Gestaltung des Gehäuses bei Bedarf zumindest abschnittsweise durch eine außerhalb des Gehäuses verlaufende Leitung gebildet sein.

Der Abgasturbolader wird in der Regel mindestens zwei Radiallager und ein Axiallager aufweisen. Gemäß einer ersten alternativen Ausgestaltung der  
20 Erfindung kann daher ein separater Strömungskanal zu jedem der Lager bzw. deren Lagerspalte führen. Gemäß einer bevorzugten zweiten alternativen Ausgestaltung der Erfindung, die sich auf konstruktiv einfachere Weise realisieren läßt, ist jedoch vorgesehen, dass die Spalte der Lager über  
25 weitere in dem Gehäuse gebildete Strömungskanäle miteinander kommunizieren und somit in Folge nacheinander von dem Luftstrom durchströmt werden können. Hierbei führt der Strömungskanal vorzugsweise zum turboradnächsten Lager, das der größten Temperaturbelastung ausgesetzt ist und daher bevorzugt als erstes von dem zunächst noch relativ  
30 kühlen Luftstrom durchströmt werden sollte.

30

Zur Ableitung des durch die Lagerspalte geführten Luftstroms weist das Gehäuse zweckmäßig mindestens eine Austrittsöffnung für den Luftstrom

- auf. Die Ableitung kann alternativ auch auf besonders einfache Weise dadurch geschaffen werden, dass ein üblicherweise vorhandener Dichtungsring für die Welle im Bereich des Verdichterrads weggelassen wird, wodurch zwischen der Welle und dem Gehäuse ein Ringspalt verbleibt, durch den der Luftstrom austreten kann.

- Der Bedarf an Kühlluft für die Lager ist klein im Vergleich zum Luftbedarf des von dem Turbolader beaufschlagten Motors, so dass der Querschnitt des in das unter Druck stehende Verdichtergehäuse mündenden Strömungskanals klein sein kann gegenüber dem Querschnitt einer zum Motor führenden Leitung für die verdichtete Luft. Ein nennenswerter Druckverlust durch die Kühlluftabzweigung ist nicht zu befürchten, so dass durch die Abzweigung auch keine Einbuße an Motorleistung entsteht. Obwohl die Kühlluft grundsätzlich auch durch eine externe Luftquelle geliefert werden könnte, ist die geschilderte Abzweigung daher die einfachste und auch kostengünstigste Lösung.

- Das erfindungsgemäße Verfahren zur Kühlung von magnetischen Lagern eines Abgasturboladers, wobei der Abgasturbolader ein Gehäuse und eine im Gehäuse um ihre Längsachse drehbar angeordnete Welle, auf der ein Turbinenrad und ein Verdichterrad sitzen, aufweist und wobei die Lager auf der Welle angeordnete Lagerscheiben und von diesen durch einen Luftspalt getrennte, gehäusefeste Statoren aufweisen, sieht vor, dass die Lagerspalte mit einem Luftstrom beaufschlagt werden. Dieser wird bevorzugt als Teilstrom von der mittels des Verdichterrads verdichteten Luft abgezweigt und kann durch einen Gehäusekanal zu mindestens einem der Lagerspalte geführt werden. Mehrere vorhandene Lager können entweder unabhängig voneinander oder, soweit sie strömungsmäßig miteinander in Verbindung stehen, seriell mit einem Luftstrom beaufschlagt werden. Bevorzugt wird der Luftstrom von der Turbinenradseite zur Verdichterradseite durch die Lagerspalte geführt und nach dem Durchströmen mindestens eines Lagerspalts über eine Austrittsöffnung in den Bereich außerhalb des

Gehäuses geleitet, wobei die Austrittsöffnung auf besonders einfache Weise durch Weglassen eines verdichterradseitigen Wellendichtrings geschaffen werden kann.

- 5 Im folgenden wird die Erfindung anhand eines in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 die Seitenansicht eines Abgasturboladers mit Teilen seines Lagergehäuses mit Teilschnittdarstellung des oberen Teils der Lagerung der Welle und mit im Lagergehäuse vorgesehenen Strömungskanälen für eine Kühlluftbeaufschlagung der Lager.

Der in Fig. 1 dargestellte Abgasturbolader 1 weist eine Welle 2 auf, an deren linksseitigem Ende ein Verdichterrad 3 und an deren rechtsseitigem Ende ein Turbinenrad 4 sitzen. Das Verdichterrad 3 ist in an sich bekannter Weise als Radialverdichter ausgebildet.

Zwischen Verdichterrad 3 und Turbinenrad 4 befinden sich zwei Radiallager 5, 6. Die Radiallager 5, 6 sind dem Verdichterrad 3 bzw. Dem Turbinenrad 4 benachbart. Zwischen ihnen befinden sich Nuten 7, 8, die der Aufnahme von Dichtringen dienen, wobei sie Begrenzungslager mit einem typischen Spiel von ca.  $\pm 0,15$  mm bilden. Zwischen den Radiallagern 5, 6, befindet sich ein Axiallager 9.

Wie sich aus dem oberen Teil von Fig. 1 ersehen lässt, ist die Welle 2 von insgesamt sechs Ringen umgeben, die gegen einen Bund 10 an der Welle 2 axial verspannt sind. Auf eine erste Wellenhülse 11 mit der Nut 7 folgt eine Lagerscheibe 12, eine zweite Wellenhülse 13, eine Lagerscheibe 14, eine dritte Wellenhülse 15 und eine weitere Lagerscheibe 16.

Die Lagerscheiben 12, 16, gehören zu den Radiallagern 5, 6. Sie werden jeweils beidseitig durch ein im Querschnitt U-förmiges, die Welle 2 coaxial

umgebendes Joch 17, 18 einfasst, wobei jedes Joch 17, 18 ein Paar von Radiallagerstatoren 19, 20 bzw. 21, 22 aufweist, die die Schenkel der Joche 17, 18, bilden. Die Radiallagerstatoren 19, 20, 21, 22 und die Lagerscheiben 12, 16 weisen Permanentmagnete 23, 24, 25, 26 bzw. 27, 28, 29, 30 auf, die  
5 sich in den beiden Radiallagern 5, 6 jeweils in axialer Richtung gegenüberstehen. Sie sind so polarisiert, dass sie sich jeweils anziehen, so dass sich in den Spalten zwischen den Lagerscheiben 12, 16 und den Radiallagerstatoren 19, 20, 21, 22 ein axial gerichtetes und attrahierendes Magnetfeld ergibt. Die Magnetfelder zentrieren die Welle 2, wobei eine  
10 Radialsteifigkeit von beispielsweise 160 kN/m erreicht wird.

Die Joche 17, 18 werden radial außenseitig von federelastischen Elementen 60, 61 umgeben, die als zylindrische Ringe aus Kunststoffmaterial ausgebildet sind. Um auftretende Schwingungen möglichst wirksam dämpfen  
15 zu können, sind die Ringe 60, 61 spaltfrei mit der radial außen liegenden Fläche der Joche 17, 18 einerseits und der radial innen liegenden Fläche eines die Joche 17, 18 axial übergreifenden Flansches von Gehäusescheiben 37, 38 andererseits verbunden. Die Gehäusescheiben 37, 38 sind mit dem in der Zeichnung nicht näher dargestellten Gehäuse des  
20 Turboladers verbunden. Die Ringe 60, 61 werden durch Radialbewegungen der Joche 17, 18 auf Druck beansprucht und dämpfen auf diese Weise die Radialbewegung. Die Federsteifigkeit der Ringe 60, 61 liegt im Bereich von 200 kN/m bis 600 kN/m. Die Dämpfungskonstante der Ringe 60, 61 beträgt etwa 100 kg/s bis 300 kg/s.

25 Die Lagerscheibe 14 gehört zu dem Axiallager 9. Sie wird beidseitig von einem Ringjoch 47 aus geblechtem St-Eisen eingefasst. Das Ringjoch 47 ist zwischen den beiden Gehäusescheiben 37, 38 eingefasst und fixiert. Es hat einen äußeren Jochmantel 48, von dem zwei nach innen gerichtete  
30 Jochschenkel 49, 50 ausgehen, die L-förmigen Querschnitt haben und mit gegeneinander gerichteten Schenkelabschnitten die Lagerscheibe 14 einfassen, wobei zwei Magnetspalte 51, 52 entstehen. Der Umfangsseite der

Lagerscheibe 14 benachbart befinden sich innerhalb des Ringjochs 47 zwei axial nebeneinander liegende Permanentmagnete 53, 54, welche - symbolisiert durch die Dreiecke – entgegengesetzt axial polarisiert sind. Sie liegen aneinander und an den Jochschenkeln 49, 50 an. Sie werden von  
5 einer elektromagnetischen Ringspule 55 umgeben, die den Raum zwischen den Permanentmagneten 53, 54 sowie dem Jochmantel 48 und den Jochschenkeln 49, 50 ausfüllt.

Aufgrund der magnetischen Instabilität der Welle 2 in axialer Richtung muss  
10 über das Axiallager 9 eine axiale Stabilisierung bewirkt werden. Dies geschieht bei einer axialen Auslenkung der Lagerscheibe 14 dadurch, dass diese Auslenkung von einem hier nicht näher dargestellten, im Stand der Technik bekannten Sensor erfasst wird und hierdurch der ebenfalls nicht dargestellte Regler den Stromzufluss zu der Ringspule 55 so steuert, dass  
15 ein zusätzlicher Magnetfluss erzeugt wird, der insgesamt zu einer asymmetrischen Magnetflussverteilung innerhalb des Axiallagers 9 führt, die der Auslenkung der Lagerscheibe entgegenwirkt.

Zwischen den Lagerscheiben 12, 14, 16 und deren Statoren 19, 20, 21, 22  
20 bzw. Jochschenkeln 49, 50 sind Spalte gebildet, die durch einen im wesentlichen entlang der Wellenachse verlaufenden Strömungskanal miteinander in Verbindung stehen. Das Lager 6 wird über einen Strömungskanal 62 mit Druckluft beaufschlagt, die über eine in das Verdichtergehäuse 64 mündende Leitung 65 zugeführt wird. Der  
25 Kühlluftstrom strömt dann nacheinander durch die Lagerspalte der Lager 6, 9 und 5 und tritt durch alternativ oder zusammen vorgesehene Austrittsöffnungen 63, 66 im Lagergehäuse 39 bzw. der Verdichtergehäuserückwand aus. Auf diese Weise wird die im Betrieb des Turboladers entstehende Wärme von den vergleichsweise  
30 temperaturempfindlichen Magnetlagern abgeführt.



## Patentansprüche

1. Abgasturbolader (1) mit einem Gehäuse und einer im Gehäuse um ihre Längsachse drehbar angeordneten Welle (2), auf der ein Turbinenrad (4) und ein Verdichterrad (3) sitzen und die in als Magnetlager ausgebildeten Radiallagern (5, 6) und wenigstens einem Axiallager (9) geführt ist, wobei die Lager (5, 6, 9) jeweils eine auf der Welle (2) sitzende Lagerscheibe (12, 14, 16) und wenigstens einen diesem an zumindest einer Seite axial unter Bildung eines Spaltes gegenüberliegenden Stator (19, 20, 21, 22, 49, 50) aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Gehäuse mindestens ein Strömungskanal (62, 65) gebildet ist, über den mindestens ein Lagerspalt mit einem Luftstrom beaufschlagbar ist.
2. Abgasturbolader nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Strömungskanal in ein Verdichtergehäuse (64) des Turboladers (1) mündet.
3. Abgasturbolader nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungskanal (62, 65) zumindest abschnittsweise durch eine außerhalb des Gehäuses verlaufende Leitung (65) gebildet ist.
4. Abgasturbolader nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein separater Strömungskanal zu jedem der Lager (5, 6, 9) führt.
5. Abgasturbolader nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spalte der Lager (5, 6, 9) über weitere in dem Gehäuse gebildete Strömungskanäle miteinander kommunizieren.

6. Abgasturbolader nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungskanal (62, 65) nur zu einem der Lager, vorzugsweise dem turbinenradseitigen Lager (6), führt.
- 5 7. Abgasturbolader nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gehäuse mindestens eine Austrittsöffnung (63, 66) für die durch die Lager (5, 6, 9) strömende Luft aufweist.
- 10 8. Abgasturbolader nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Austrittsöffnung durch einen Spalt zwischen dem Gehäuse und der Welle (2) im Bereich des Verdichterrads (3) gebildet ist.
- 15 9. Abgasturbolader nach einem der Ansprüche 2 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Querschnitt des Strömungskanals (62, 65) klein ist gegenüber dem Querschnitt einer zum Motor führenden Leitung für die verdichtete Luft.
- 20 10. Verfahren zur Kühlung von magnetischen Lagern (5, 6, 9) eines Abgasturboladers (1), wobei der Abgasturbolader ein Gehäuse und eine im Gehäuse um ihre Längsachse drehbar angeordnete Welle (2), auf der ein Turbinenrad (4) und ein Verdichterrad (3) sitzen, aufweist und wobei die Lager (5, 6, 9) auf der Welle (2) angeordnete Lagerscheiben und von diesen durch einen Luftspalt getrennte, gehäusefeste Statoren (19, 20, 21, 22, 49, 50) aufweisen, **dadurch**  
25 **gekennzeichnet**, dass die Lagerspalte mit einem Luftstrom beaufschlagt werden.
- 30 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Luftstrom als Teilstrom von der mittels des Verdichterrads (3) verdichteten Luft abgezweigt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Luftstrom durch einen Gehäusekanal (62, 65) zu mindestens einem der Lagerspalte geführt wird.
- 5 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lagerspalte unabhängig voneinander mit einem Luftstrom beaufschlagt werden.
- 10 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die über Gehäusekanäle miteinander in Verbindung stehenden Lagerspalte seriell mit dem Luftstrom beaufschlagt werden.
- 15 15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Luftstrom von der Turbinenradseite zur Verdichterradseite durch die Lagerspalte geführt wird.
- 20 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Luftstrom nach dem Durchströmen mindestens eines Lagerspalts über eine Austrittsöffnung in den Bereich außerhalb des Gehäuses geleitet wird.
- 25 17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Austrittsöffnung durch Weglassen eines verdichterradseitigen Wellendichtrings geschaffen wird.

## **Zusammenfassung**

### Abgasturbolader

- 5 Die Erfindung betrifft einen Abgasturbolader (1) mit einem Gehäuse und einer im Gehäuse um ihre Längsachse drehbar angeordneten Welle (2), auf der ein Turbinenrad (4) und ein Verdichterrad (3) sitzen und die in als Magnetlager ausgebildeten Radiallagern (5, 6) und wenigstens einem Axiallager (9) geführt ist, wobei die Lager (5, 6, 9) jeweils eine auf der Welle
- 10 (2) sitzende Lagerscheibe (12, 14, 16) und wenigstens einen diesem an zumindest einer Seite axial unter Bildung eines Spaltes gegenüberliegenden Stator (19, 20, 21, 22, 49, 50) aufweisen. Um eine Kühlung der Lager zu ermöglichen, wird gemäß der Erfindung vorgeschlagen, dass in dem Gehäuse (39) mindestens ein Strömungskanal (61, 62) gebildet ist, über den
- 15 mindestens ein Lagerspalt mit einem Luftstrom beaufschlagbar ist.

(Fig. 1)

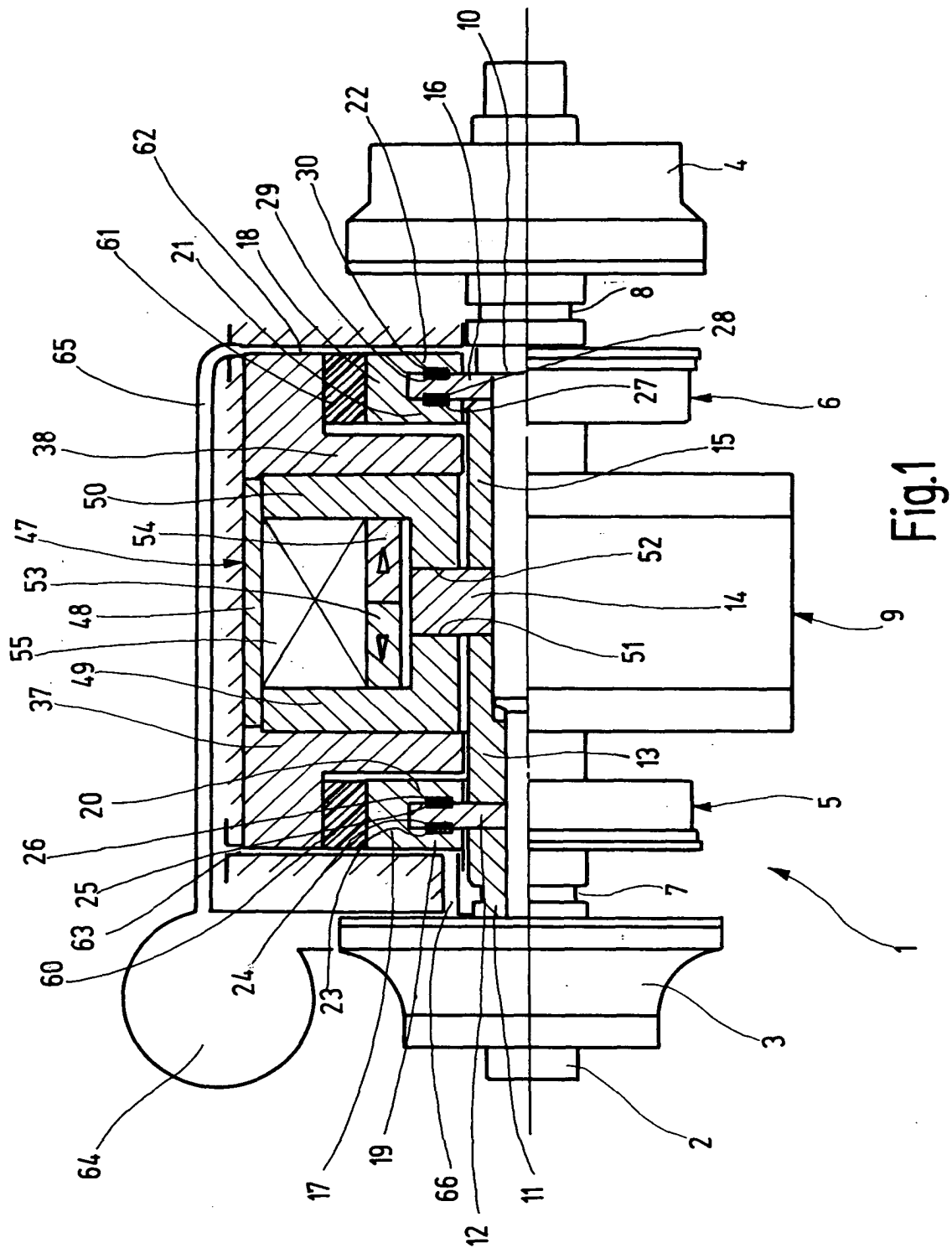


Fig.1